

PENGARUH PENGGUNAAN *CUTTING FLUID* DAN PEMILIHAN *FEED RATE* TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN KEPRESISIAN MATERIAL *ALUMINIUM* MENGGUNAKAN MESIN *MILLING CNC*

Widhaya Bastian Purnama¹, Indri Yaningsih², Heru Sukanto²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Abstract

There are many factor affecting the quality of product that are produced from milling machine process. The quality is mostly about surface roughness and precision. Those affecting factors are the selection of cutting parameter and use of cutting fluid. The research is done in order to know the effect of using cutting fluid and feed rate to aluminum on surface roughness and precision using Milling CNC machine. This research uses milling CNC Mitsubishi M70 machine. The free variables of feed rate are 20, 32, 45, 69, 108 mm/min. Each feed rate variations are given cutting fluid and no- cutting fluid treatment. The cutting fluid used is bromus oil which is mixed with water. The tests performed were surface roughness test, precision test. The result of this study shows that feed rate is in line with surface roughness. The use of cutting fluid affects surface roughness. The surface roughness score at feed rate variation using coolant treatment are 20, 32, 45, 69, 108 mm/min shows the surface roughness score of 0,442; 0,484; 0,553; 0,643; 0,797 μm . surface roughness score without cutting fluid treatment reveals the score of 0,470; 0,517; 0,582; 0,662; 0,847 μm . According to statistical analysis result using two way ANOVA, it can be concluded that the use of cutting fluid and feed rate affect precision at 95% trust rate. The measurement of A dimension using cutting fluid in the variation of feed rate 20, 32, 45, 69, 108 mm/min shows the precision rate of 99,999348; 99,99929; 99,999304; 99,999261; 99,9992 %. While, the variation without cutting fluid treatment reveals the precision rate at 99,999188 ; 99,999184; 99,999037; 99,998884; 99,998684 %.

Keywords : *Cutting Fluid, Feed Rate, Surface Roughness, Precision*

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan IPTEK, Industri manufaktur dituntut untuk meningkatkan kualitas produk, kecepatan produksi dan biaya produksi agar dapat bersaing. Untuk itu dibutuhkan solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Salah satunya dengan mesin *CNC*. Mesin *CNC* adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standar ISO. Sistem kerja teknologi *CNC* ini akan lebih sinkron antara komputer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas *CNC* lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi masal. Dengan dirancangnya mesin perkakas *CNC* dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi.

Karakteristik geometri yang ideal dari suatu produk atau komponen diantaranya yaitu kepresisian dan permukaan yang halus. Tingkat kehalusan suatu permukaan dan kepresisian merupakan peranan penting dalam perencanaan suatu komponen yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan. Dalam sebuah penelitian, Hayajneh dkk (2007) menunjukkan bahwa *feed rate* merupakan parameter paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan akhir pada sampel *aluminium*. Selain *feed rate*, penggunaan *cutting fluid* juga dinilai mempengaruhi kekasaran permukaan.

Dari latar belakang tersebut diatas maka perlu dikembangkan penelitian tentang pengaruh penggunaan *cutting fluid* dan pemilihan *feed rate* terhadap kekasaran permukaan dan tingkat kepresisian yang dihasilkan. Dari penelitian ini diharapkan akan mengetahui seberapa besar pengaruh dari penggunaan *cutting fluid* dan pemilihan *feed rate* pada proses manufaktur.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Lab. Mobil Listrik Nasional Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *Aluminium*. Pahat yang digunakan adalah pahat dengan bahan *Carbide* dengan tipe dan diameter pahat sebagai berikut:

1. *Endmill carbide* 20 mm (facing).
2. *Endmill carbide* 10 mm (profil).
3. Pahat *drill* diameter 5 mm.
4. Pahat ulir M06x1.

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *Aluminium*. Pahat yang digunakan adalah pahat dengan bahan *Carbide* dengan tipe dan diameter pahat sebagai berikut:

5. *Endmill carbide* 20 mm (facing).
6. *Endmill carbide* 10 mm (profil).
7. Pahat *drill* diameter 5 mm.
8. Pahat ulir M06x1.

2.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Pada penelitian ini terdapat dua variabel bebas yaitu *cutting fluid* (dengan dan tanpa) dan *feed rate* (20, 32, 45, 69, 108 mm/min).

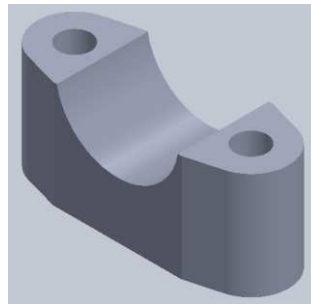
2.2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah dilakukan penelitian. Dengan adanya hubungan antara variabel bebas dan terikat akan menghasilkan perubahan nilai dari variabel terikat tersebut. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekasaran permukaan dan kepresisian hasil proses permesinan

2.3. Variabel Terkontrol

variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan selama penelitian ini antara lain putaran spindle 800 rpm (*facing*) dan 1600 rpm (*profil*), kedalaman pemakanan 1 mm.

Tahap awal penelitian ini dimulai dengan membuat permodelan 3D menggunakan *software solidworks*. Desain yang dibuat yaitu spare part kendaraan bermotor bernama *Engine Kill Switch*. Desain benda kerja ditunjukkan pada Gambar 3.

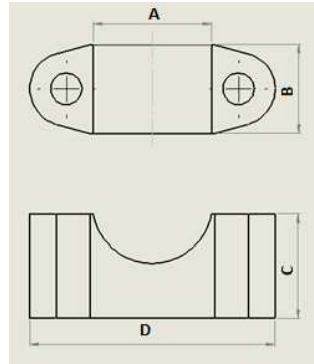


Gambar 1. Desain penampang benda kerja.

Simulasi percobaan dengan menggunakan *software* Solidcam, dan dari hasil simulasi akan didapat *NC-Code* dengan menggunakan *post procesor* yang sesuai dengan mesin CNC yang digunakan yaitu tipe MITSUBISHI M-70.

Proses pemesinan awal yang dilakukan dengan mesin CNC *milling* yaitu proses *facing* dengan perlakuan variabel bebas yang sudah ditentukan. Setelah proses facing selesai dilanjutkan dengan pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan *Surface Roughness Tester SJ-201 series*. Pada saat pengambilan data, posisi sensor bergerak dengan konstan sesuai dengan sumbu horizontal dan sejajar benda uji (berada pada garis lurus).

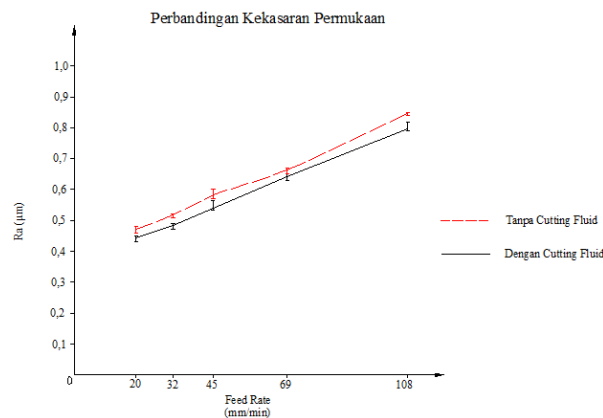
Proses pemesinan selanjutnya yaitu proses pembentukan profil dengan perlakuan variabel bebas yang sama. Setelah pembentukan profil, dilakukan pengambilan data dimensi untuk mengetahui kepresisian. Masing-masing benda kerja dilakukan pengukuran pada 4 posisi berbeda seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Daerah ukur dimensi benda kerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekasaran permukaan terhadap penggunaan *cutting fluids* dan pemilihan *feed rate* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram hubungan antara variasi *feed rate* dengan dan tanpa *cutting fluid* terhadap kekasaran permukaan.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara variasi *feed rate* dengan *cutting fluid* dan tanpa *cutting fluid* terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Hasil dari pengujian menggunakan pendingin menunjukkan adanya grafik yang meningkat dari nilai kekasaran permukaan dari setiap variasi *feed rate*. Nilai kekasaran pada variasi *feed rate* 20, 32, 45, 69, 108 mm/min menggunakan *cutting fluid*, menunjukkan nilai kekasaran berturut-turut sebesar 0,442; 0,484; 0,553; 0,643; 0,797 µm. Pada perlakuan yang lain, yaitu tanpa menggunakan *cutting fluid* dilakukan pengujian kekasaran permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan adanya peningkatan nilai kekasaran permukaan dari setiap variasi *feed rate* dari *feed rate* rendah ke *feed rate* tinggi. Nilai kekasaran permukaan pada variasi *feed rate* 20, 32,

45, 69, 108 mm/min tanpa menggunakan *cutting fluid* menunjukkan nilai kekasaran 0,470; 0,517; 0,582; 0,662; 0,847 μm . Dari Gambar 3 diatas terlihat bahwa *feed rate* berbanding lurus dengan kekasaran permukaan. Semakin besar *feed rate*, semakin besar kekasaran permukaannya. Baik pada perlakuan menggunakan *cutting fluid* maupun tanpa menggunakan *cutting fluid*. Hal ini sesuai dengan penelitian Syah dkk (2014) yang menyatakan bahwa semakin tinggi *feed rate* maka kekasaran permukaan proses pemesinan *CNC Milling* semakin besar, begitu pula dengan rendahnya *feed rate* maka kekasaran permukaan akan semakin kecil.

Penggunaan *cutting fluid* pada proses *CNC milling* yang dilakukan pada material *aluminium* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan. Hal tersebut ditunjukkan pada grafik dimana nilai kekasaran pada variasi *feed rate* 20, 32, 45, 69, 108 mm/min menggunakan *cutting fluid*, menunjukkan nilai kekasaran berturut-turut sebesar 0,442; 0,484; 0,553; 0,643; 0,797 μm . Nilai kekasaran permukaan tanpa menggunakan *cutting fluid* menunjukkan nilai kekasaran 0,470; 0,517; 0,582; 0,662; 0,847 μm . Benda kerja dengan perlakuan menggunakan *cutting fluid* memiliki kekasaran lebih rendah dibanding benda kerja dengan perlakuan tanpa menggunakan *cutting fluid*. Salah satu fungsi dari *cutting fluid* yaitu untuk mereduksi *built up edge*. *Built up edge* merupakan salah satu faktor utama kontribusi dalam kekasaran permukaan natural. *Built up edge* dapat secara terus menerus terbentuk dan patah, partikel patahan akan terbawa di bawah permukaan *chip* dan permukaan benda kerja baru. Dengan begitu *chip* yang terbentuk akan lebih besar, maka akan menghasilkan permukaan yang lebih kasar. Dengan mengurangi *built up edge*, maka permukaan yang dihasilkan akan lebih halus (Muksiwibowo, 2011). Dalam dasar teori disebutkan bahwa penggunaan *cutting fluid* memiliki efek untuk benda kerja. Yaitu permukaan benda kerja yang dihasilkan menjadi lebih halus (Dwi Rahdiyanta, 2010). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Cakir dkk (2007) yang menyatakan bahwa penggunaan *cutting fluid* akan mempengaruhi hasil permukaan akhir. Selain penelitian tersebut, ada juga penelitian dari Rizkiani dkk (2013) yang menyatakan bahwa semakin besar *feed rate*, semakin besar nilai kekasaran permukaan (berbanding lurus).

Pengukuran dimensi menggunakan alat ukur jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm. Pengukuran dimensi dilakukan sebanyak 30 kali terhadap 10 benda kerja yang berbeda, masing-masing benda kerja dilakukan 4 kali pengukuran pada posisi berbeda. Data yang diperoleh pada pengujian ini data berupa data dimensi pada posisi pengukuran A, B, C, D.

Hasil pengukuran kemudian dianalisis menggunakan Analisis Variansi dua jalan (*two way ANOVA*) untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan efek beberapa perlakuan (penggunaan *cutting fluid* dan *feed rate*) terhadap variabel terikat (data kepresisian) menggunakan program *SPSS (Statistical Product and Service Solution)* versi 22.

Dalam memasukkan data pada tabel yang akan dianalisis, peneliti menggunakan data jarak antara dimensi yang diukur dengan rata-rata keseluruhan tiap sampel. Jarak antara dimensi yang diukur dengan rata-rata dapat dirumuskan dengan :

$$d_n = -(x_n - \bar{x})^2 \quad (1)$$

Dimana :

d_n : Data yang dimasukkan (jarak titik yang diukur dengan rerata)

x_n : Titik sampel tiap pengukuran

\bar{x} : Rata-rata pengukuran tiap sampel

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan program *SPSS* diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Analisis Program SPSS Dimensi A

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dimensiA

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3,585E-5 ^a	9	3,983E-6	6,399	,000
Intercept	9,611E-5	1	9,611E-5	154,418	,000
feedrate	1,286E-5	4	3,215E-6	5,165	,000
cuttingfluid	1,381E-5	1	1,381E-5	22,195	,000
feedrate * cuttingfluid	9,174E-6	4	2,294E-6	3,685	,006
Error	,000	290	6,224E-7		
Total	,000	300			
Corrected Total	,000	299			

a. R Squared = ,166 (Adjusted R Squared = ,140)

Tabel 2. Hasil Analisis Program SPSS Dimensi B

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dimensiB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5,320E-6 ^a	9	5,911E-7	16,248	,000
Intercept	9,910E-6	1	9,910E-6	272,401	,000
feedrate	2,266E-6	4	5,665E-7	15,571	,000
cuttingfluid	2,108E-6	1	2,108E-6	57,957	,000
feedrate * cuttingfluid	9,455E-7	4	2,364E-7	6,498	,000
Error	1,055E-5	290	3,638E-8		
Total	2,578E-5	300			
Corrected Total	1,587E-5	299			

a. R Squared = ,335 (Adjusted R Squared = ,315)

Tabel 3. Hasil Analisis Program SPSS Dimensi C

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dimensiC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,325E-5 ^a	9	2,583E-6	9,227	,000
Intercept	3,815E-5	1	3,815E-5	136,275	,000
feedrate	5,634E-6	4	1,409E-6	5,032	,001
cuttingfluid	1,457E-5	1	1,457E-5	52,049	,000
feedrate * cuttingfluid	3,042E-6	4	7,606E-7	2,717	,030
Error	8,118E-5	290	2,799E-7		
Total	,000	300			
Corrected Total	,000	299			

a. R Squared = ,223 (Adjusted R Squared = ,198)

Tabel 4. Hasil Analisis Program SPSS Dimensi D

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: dimensiD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,562E-5 ^a	9	2,846E-6	9,663	,000
Intercept	4,219E-5	1	4,219E-5	143,256	,000
feedrate	7,850E-6	4	1,963E-6	6,663	,000
cuttingfluid	1,405E-5	1	1,405E-5	47,697	,000
feedrate * cuttingfluid	3,717E-6	4	9,292E-7	3,155	,015
Error	8,542E-5	290	2,946E-7		
Total	,000	300			
Corrected Total	,000	299			

a. R Squared = ,231 (Adjusted R Squared = ,207)

Berdasarkan hasil tabel analisis SPSS terlihat bahwa tingkat signifikansi hubungan antara *feed rate* terhadap kepresisian adalah $< 0,05$ (tingkat signifikansi yang telah ditentukan) sehingga H_{0A} ditolak. Maka keputusan ujinya dari H_{1A} yang artinya ada pengaruh antara *feed rate* terhadap kepresisian. Nilai signifikansi hubungan antara *cutting fluid* terhadap kepresisian adalah $< 0,05$ sehingga H_{0B} ditolak. Maka dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh antara penggunaan *cutting fluid* terhadap kepresisian. Begitu pula nilai taraf signifikansi hubungan antara *feed rate* dan *cutting fluid* $< 0,05$. Dengan demikian, H_{0AB} ditolak, dan H_{1AB} diterima yang artinya ada interaksi *feed rate* dan *cutting fluid* terhadap kepresisian.

Untuk mengetahui penyebaran data, peneliti menentukan standar deviasi pada setiap dimensi di berbagai variabel bebas. Semakin kecil standar deviasi, penyebaran data

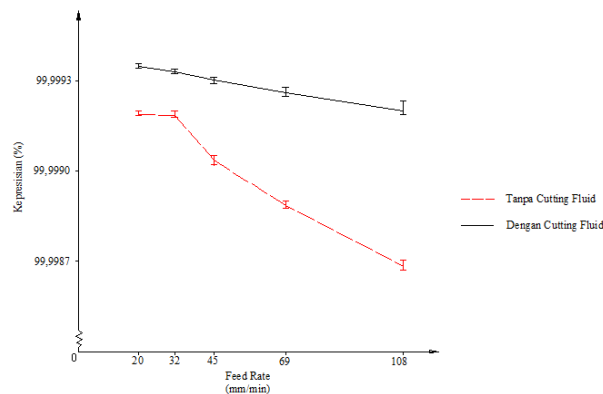
yang diambil semakin mengumpul. Begitu pula sebaliknya. Standar deviasi dapat ditentukan menggunakan rumus :

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_n - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (2)$$

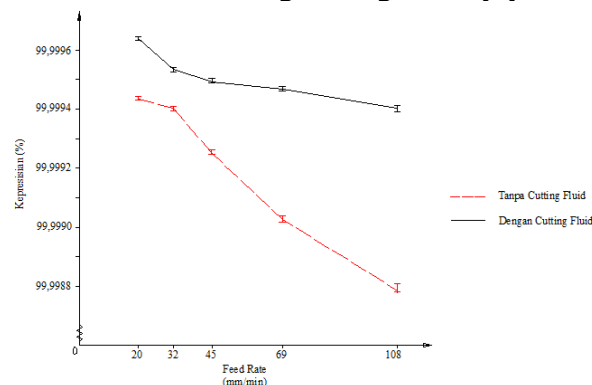
Setelah diketahui penyebaran data pada masing-masing sampel, kemudian mencari nilai kepresisian dengan menggunakan rumus :

$$\text{Kepresisian} = \left(100 \% - \sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{x_n - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100 \% \right| \right) \quad (3)$$

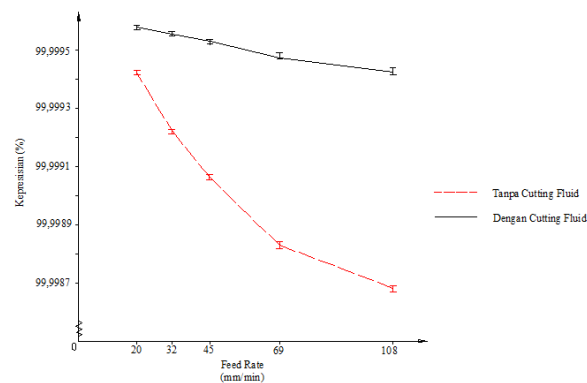
Adapun grafik hubungan variasi *feed rate* dan penggunaan *cutting fluid* terhadap tingkat kepresisian hasil amatan ditunjukkan pada gambar-gambar berikut :



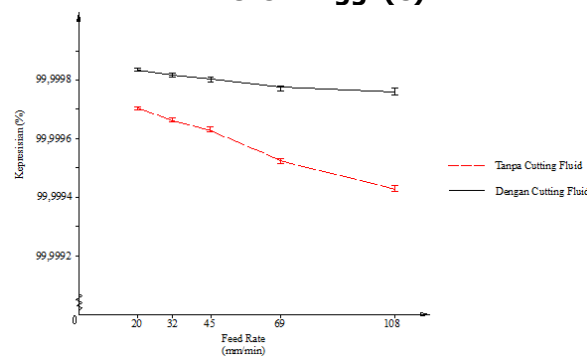
Gambar 4. Grafik Hubungan *Feed Rate* dengan Kepresisian Data Hasil Pengamatan Dimensi Setengah Lingkaran (A)



Gambar 5. Grafik Hubungan *Feed Rate* dengan Kepresisian Data Hasil Pengamatan Dimensi Lebar (B)



Gambar 6. Grafik Hubungan *Feed Rate* dengan Kepresisian Data Hasil Pengamatan Dimensi Tinggi (C)



Gambar 7. Grafik Hubungan *Feed Rate* dengan Kepresisian Data Hasil Pengamatan Dimensi Panjang (D)

Dari grafik-grafik di atas menunjukkan adanya pengaruh penggunaan *cutting fluid* dan variasi *feed rate* terhadap kepresisian. Semakin tinggi *feed rate*, maka semakin rendah tingkat kepresisiannya. Hal tersebut dikarenakan getaran yang dihasilkan oleh gesekan antara pahat dengan benda kerja. Semakin besar *feed rate*, maka getaran semakin besar (Syah, 2014). Apabila getaran yang dihasilkan besar, maka kepresisian dari benda kerja akan menurun. Pada variasi penggunaan *cutting fluid*, menunjukkan bahwa penggunaan *cutting fluid* menunjukkan tingkat kepresisian yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan *cutting fluid*. Salah satu fungsi dari *cutting fluid* yaitu untuk mereduksi *built up edge*. *Built up edge* merupakan salah satu faktor utama kontribusi dalam kekasaran permukaan natural dan kepresisian. *Built up edge* dapat secara terus menerus terbentuk dan patah, partikel patahan akan terbawa di bawah permukaan *chip* dan permukaan benda kerja baru. Dengan begitu *chip* yang terbentuk akan lebih besar, maka akan menghasilkan permukaan yang lebih kasar dan tidak presisi. Dengan mengurangi *built up edge*, maka permukaan yang dihasilkan akan lebih baik (Muktiwibowo, 2011). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang

dilakukan oleh Cakir dkk (2007) yang menghasilkan bahwa penggunaan *cutting fluid* untuk proses permesinan pada umumnya memberikan manfaat meningkatkan kualitas permukaan akhir. Hal tersebut juga sesuai dengan teori bahwa salah satu manfaat penggunaan *cutting fluid* diantaranya adalah permukaan benda kerja menjadi lebih baik (Rahdiyanta, 2010).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi *feed rate* maka kekasaran permukaan semakin besar. Penggunaan *cutting fluid* memiliki pengaruh positif terhadap kekasaran permukaan ditunjukkan pada nilai kekasaran pada *feed rate* 20, 32, 45, 69, 108 mm/min menggunakan *cutting fluid*, menunjukkan nilai kekasaran berturut-turut sebesar 0,442; 0,484; 0,553; 0,643; 0,797 μm dibandingkan dengan *feed rate* yang sama tanpa menggunakan *cutting fluid* menunjukkan nilai kekasaran permukaan 0,470; 0,517; 0,582; 0,662; 0,847 μm .
2. Penggunaan *cutting fluid* dan variasi *feed rate* mempengaruhi kepresisian yang diketahui dari uji hipotesis *two way ANOVA* dengan tingkat keyakinan 95 %. Semakin tinggi *feed rate* maka tingkat kepresisian semakin rendah. Penggunaan *cutting fluid* menyebabkan tingkat kepresisian lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Armunanto, B. 2001. *Teknik Pengukuran (Metrologi Industri)*. Surakarta: ATMI PRESS.
- Boothroyd, G. 1985. *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. Tokyo: McGraw Hill Book Co.
- Budiyono. 2009. *Statistika Untuk Penelitian*. Surakarta : Sebelas Maret University Press.
- Cakir, O., Yardimeden, A., Ozben, T., & Kilickap, E. 2007. *Selection of Cutting Fluids in Machining Processes*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.
- Daryus, A. 2008. *Proses Produksi*. Jakarta: Universitas Darma Persada
- Emad Abouel Nasr, P., & Ali K. Kamrani, P. 2007. *Computer-Based Design and Manufacturing*. Houston, TX, USA: Springer.
- Hayajneh, M.T., Montasser, Tahat, S., & Bluhm, J. 2007. *Study of Effect of Machining Parameter on Surface Roughness in the End-Milling Proces*. Vol.1 Number 1 ISSN 1995-6665.
- Hollebrandse, J. J. 1993. *Teknik Pemrograman dan Aplikasi CNC*. Jakarta: Rosda Jayaputra.
- Kalpajian, S. 2000. *Manufacturing Engineering and Technology Fourth edition*. India: Addison Wesley.
- Kirkup, L., & Frenkel, B. 2006. *An Introduction to Uncertainty in Measurement*. NewYork: Cambridge University Press .
- Klocke, F. 2011. *Manufacturing Processes 1 Cutting Translated by Aaron Kuchle*. Germany: Library of Congress Control Number: 2011925556.
- Lubis, S., & Yanuari, S. A. 2014. *Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Proses Side Milling dan Face Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Logam*. Jakarta : Jurusan Teknik Mesin Universitas Tarumanagara.
- Muktiwibowo, S., Sutikno, E., Oerbandono, T. 2011. *Pengaruh Depth of Cut dan Variasi Cutting Fluid Terhadap Surface Roughness Aluminium 6061 Hasil Proses Turning*. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Oberg, E., Jones, F. D., Horton, H. L., & Ryffel, H. H. 2012. *Machinery's Handbook 29th Edition*. New York: Industrial Press.
- Patil, R. A., Shinde, V. D., Shete, H. V., & Nevagi, S. P. 2013. *Effect of High Pressure Coolant on Surface Finish in Turning Operation*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, ISSN 2319-8753.
- Petropoulos, G. P., Pandazaras, C. N., & Davim, J. P. 2010. *Surface Texture Characterization and Evaluation Related to Machining*. ISBN : 978-1-84882-873-5.

- Rahdiyanta, D. 2010. *Cairan Pendingin Untuk Proses Pemesinan*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rizkiani, A. A., Sonief, A. A., & Purnami. 2013. *Pengaruh Spindel Speed, Feed Rate, dan Kemiringan Pahat Pada Proses Pemakanan Conventional Miring Menggunakan Pahat End Mill Terhadap Kekasaran Permukaan*. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Rochim, T. 1993. *Teori dan Teknologi Permesinan, Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri*. Bandung: Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB.
- Rochim, T. 2001. *Spesifikasi Geometris Metrlogi Industri dan Kontrol Kualitas, Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri*. Bandung: Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITB.
- SolidCAM 2013 *Milling Training Course 2.5D Milling*. 2013. SolidCAM.
- SolidCAM Milling User's Guide Volume 1. 2004. SolidCAM LTD.
- Syah, A. A., Sutikno, E., & Raharjo, R. 2014. *Pengaruh Feed Rate dan Depth of Cuts Terhadap Surface Roughness Pada Proses Milling Dengan Bantuan 4 Axis CNC Machine*. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

